

DETERMINACIÓN DEL COAGULANTE QUE PERMITA LA MÁXIMA REMOCIÓN DE FOSFATOS EN AGUA CRUDA DEL RÍO OTÚN.

RESUMEN

Para la remoción de fosfatos en agua cruda del Río Otún de la ciudad de Pereira, se realizaron ensayos de jarras con tres coagulantes diferentes; Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y cal hidratada, usando seis diferentes dosis con cada uno de estos productos.

Con cada coagulante se observó una buena remoción de fosfatos, observando el cambio en este parámetro desde una concentración inicial de agua cruda hasta una concentración final de agua tratada con los ensayos de jarras, en algunos casos se pudo obtener porcentajes de remoción alrededor del 90%.

PALABRAS CLAVES: Fosfato, remoción, coagulantes, sulfato de aluminio, cloruro férrico, cal hidratada.

ABSTRACT

For the phosphate remotion in the raw water of the Otún river in Pereira city, was carried out jar test whit three different coagulants; Aluminium Sulfate, Ferric Chloride and slaked lime, using six different dose whit every one of this products.

Whit every coagulant was observed a good phosphate remotion, watching the change in this parameter since a initial concentration of raw water until final concentration of treat water whit the jar test, in some cases where it could obtain remotion percentage around of 90%.

KEYWORDS: phosphate, remotion, coagulants, Aluminium Sulfate, Ferric Chloride, slaked lime.

1. INTRODUCCIÓN

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos (ortofosfatos, fosfatos condensados y otros polifosfatos ligados orgánicamente). Los ortofosfatos aplicados como fertilizantes a la tierra cultivada agrícola o residencial son arrastrados a las aguas superficiales con las lluvias (11).

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria de un cuerpo en el agua. En los casos en que constituye el nutriente limitador del crecimiento, la descarga de aguas residuales brutas o tratadas, drenados agrícolas o ciertos residuos industriales a ese cuerpo de agua, puede estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en grandes cantidades, lo cual puede alterar el balance de la vida en este medio (11).

El problema de la eutroficación está ampliamente estudiado, sin embargo las últimas tendencias internacionales en tratamiento de agua dirigen la importancia de este parámetro a la presencia de algas cianofíceas que pueden generar problemas en los sistemas de Potabilización (10).

Fecha de Recepción: 09 Febrero de 2007
Fecha de Aceptación: 25 Abril de 2007

WILTSON HAROLD DÍAZ MEJIA.

Tecnólogo Químico.
Universidad Tecnológica de Pereira
Toky1982@hotmail.com

BALMEZ GONZAGA LINARES

Químico Industrial
Departamento de Producción
Empresa Aguas y Aguas de Pereira
Balinar2004@yahoo.com

NELSON CONTRERAS CORONEL

Químico, M.Sc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
ncontrer@utp.edu.co

La concentración de fosfatos en los cuerpos de agua superficiales representa un problema debido a la reproducción geométrica de los organismos unicelulares que dependen del fósforo como fuente de alimentación (10).

El río Otún de la ciudad de Pereira presenta un nivel de fosfato alto, la procedencia, puede estar generada en la descarga de subproductos residuales del cultivo de especies piscícolas en el sector; aumentando el contenido de fosfato, que no es removido por los coagulantes utilizados actualmente (Policloruro de Aluminio "PAC" y Sulfato de Aluminio, líquido y granulado) en los procesos de tratamiento de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira (Aguas y Aguas). El aumento del valor de éste parámetro fisicoquímico causa un crecimiento acelerado de las algas en las estructuras del sistema convencional y además, no permite cumplir con el Decreto 475/98 (Normas Técnicas de la Calidad de Agua Potable), razón por la cual se hace necesario adoptar medidas de carácter específico que permitan evaluar y controlar el nivel del fosfato en los afluentes del río o en los procesos de tratamiento para su remoción (1, 3).

Es por esto que se plantea este trabajo, con el fin de determinar a nivel de planta el coagulante de mejor rendimiento, basados en las pruebas y ensayos realizados en el laboratorio de aguas de la empresa Aguas y Aguas de Pereira y con estos resultados contribuir a mejorar la calidad del agua cruda de la ciudad de Pereira.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Muestras

Se tomaran muestras de agua cruda procedente de la planta de tratamiento de Aguas y Aguas de Pereira siguiendo el muestreo propuesto en el Standard Methods (12).

Las muestras se recolectaron en jarras plásticas de polietileno ó polipropileno y se mantuvieron a temperatura ambiente para su posterior análisis fisicoquímico (8, 9).

2.2 Análisis Fisicoquímico

La prueba del contenido de fosfatos que se le hizo a las muestras recolectadas se llevó a cabo por espectrofotometría mediante el método del cloruro estannoso-digestión con persulfato, antes y después de la prueba de jarras, con el fin de observar la acción del coagulante utilizado sobre la muestra (12).

2.3 Evaluación de Diferentes Coagulantes Mediante Pruebas de Jarras

La prueba de jarras se llevó a cabo de acuerdo a la metodología propuesta (1).

El ensayo de jarras se realizó por duplicado con las dosis seleccionadas a las muestras recolectadas durante el tiempo establecido en el cronograma con el fin de obtener datos confiables para su posterior tratamiento estadístico.

Los coagulantes utilizados para dichas pruebas son: Sulfato de Aluminio granulado, Cal hidratada y Cloruro Férrico.

2.3.1 Determinación del Coagulante de Mejor Rendimiento

La determinación se realizó a partir de los mejores resultados obtenidos en las pruebas de jarras, de igual manera se determinará la dosis óptima de dicho coagulante para el proceso de remoción de fosfatos, apoyados en los resultados estadísticos.

2.4 Estadística

Se realizó el tratamiento estadístico correspondiente a los datos obtenidos en las pruebas de jarras con los diferentes coagulantes utilizados en éstas. Para dicho tratamiento se utilizaron los gráficos de control (Método de los Rangos Móviles) para cada una de las dosis aplicadas de los coagulantes antes mencionados, con el fin de observar el comportamiento del parámetro en estudio mediante los experimentos realizados (2, 4, 5).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Sulfato de Aluminio

En las tablas 1 y 2 se muestra la forma como se organizaron los datos obtenidos en los ensayos de jarras con cada una de las dosis aplicadas de los diferentes coagulantes, obteniéndose el dato promedio que posteriormente se va a graficar.

Ensayo	C PO_4^{3-} i (ppm)	C PO_4^{3-} f (ppm)	dC PO_4^{3-} (ppm)	Remoción de fosfatos (%)
1	0,103	0,011	0,092	89,32
2	0,103	0,009	0,094	91,26
3	0,101	0,011	0,090	89,11
4	0,101	0,010	0,091	90,10
5	0,027	0,015	0,012	44,44
6	0,027	0,012	0,015	55,56
7	0,045	0,014	0,031	68,89
8	0,045	0,022	0,023	51,11
9	0,231	0,056	0,175	75,76
10	0,231	0,045	0,186	80,52
11	0,226	0,067	0,159	70,35
12	0,226	0,059	0,167	73,89
13	0,214	0,092	0,122	57,01
14	0,214	0,087	0,127	59,35
15	0,217	0,130	0,087	40,09
16	0,217	0,138	0,079	36,41
Promedio	0,146	0,049	0,097	67,07

Tabla 1. Resultados de los ensayos de jarras con Sulfato de Aluminio. Dosis aplicada = 30 ppm.

Dosis $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	C PO_4^{3-} Promedio (ppm)	Remoción de fosfatos (%)
0	0,146	0,00
20	0,068	57,47
25	0,057	63,71
30	0,049	67,07
35	0,055	64,07
40	0,064	59,59
45	0,057	62,70

Tabla 2. Datos promediados de ensayos de jarras con Sulfato de Aluminio

3.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SULFATO DE ALUMINIO.

En los ensayos realizados con sulfato de aluminio se encontró un valor promedio de concentración de fosfatos en agua cruda de 0.146 ppm.

Se tomó el rango de dosificación entre 20 y 45 ppm de Sulfato de Aluminio porque en la planta de tratamiento de Aguas y Aguas de Pereira cuando la turbiedad es mínima, se usan dosis pequeñas por el orden de las 20 ppm de producto; cuando la turbiedad es alta se aplican dosis alrededor de las 45 ppm.

En la figura 1 se observa que la remoción máxima se logra con una dosis de 30 ppm de coagulante y una concentración final promedio de 0.049 ppm de fosfato. Igualmente se observa que después de las 30 ppm de coagulante hay una zona de reestabilización del fosfato debido al efecto directo del producto sobre el pH del agua.

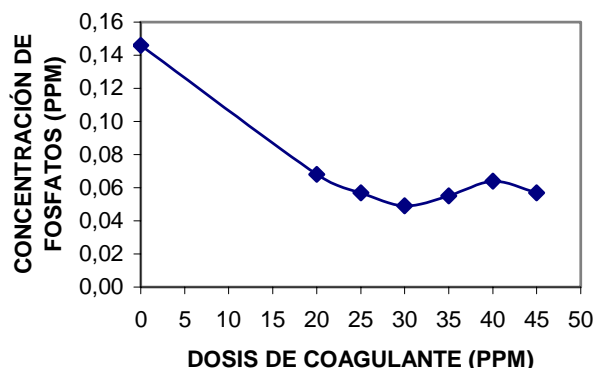


Figura 1. Promedio de remoción de fosfatos con Sulfato de Aluminio.

El Sulfato de Aluminio disminuye el pH, lo cual hace que se haga presente el Ácido Fosfórico en sus diferentes disociaciones (7).

3.2 CLORURO FÉRRICO

3.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CLORURO FÉRRICO

De acuerdo a ensayos preliminares realizados en la empresa Aguas y Aguas de Pereira con el Cloruro Férrico, se tomó un rango de dosificación de 14 a 24 ppm. En los ensayos correspondientes a la utilización del Cloruro Férrico se obtuvo una concentración promedio de fosfatos en agua cruda de 0.228 ppm (Tabla 3).

Dosis FeCl ₃ (ppm)	C PO ₄ ³⁻ Promedio (ppm)	Remoción de fosfatos (%)
0	0,228	0,00
14	0,137	41,50
16	0,124	47,55
18	0,075	63,36
20	0,088	59,61
22	0,072	68,20
24	0,087	58,35

Tabla 3. Datos promediados de ensayos de jarras con Cloruro Férrico.

En la figura 2 se observa una disminución en el contenido de fosfatos en cada una de las dosis de coagulante que se aplicó. De 18 ppm de producto en adelante se presenta una tendencia estable de remoción con dos mínimos de concentración muy cercanos entre sí, 0.075 y 0.072 ppm de fosfato en 18 y 22 ppm de Cloruro Férrico respectivamente.

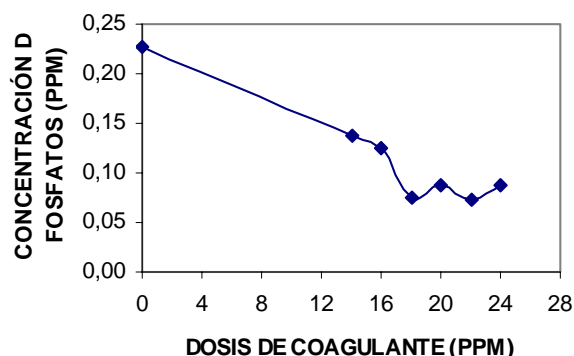


Figura 2. Promedio de remoción de fosfatos con Cloruro Férrico.

Esta tendencia se hace muy importante para la reducción de consumo del producto químico y por consiguiente un ahorro significativo en el costo del proceso de Potabilización.

3.3 CAL HIDRATADA

3.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CAL HIDRATADA

En la planta de tratamiento de la ciudad de Pereira, la cal hidratada se ha utilizado para el proceso de ajuste de pH y no como coagulante. La cal no es propiamente un coagulante pues este no presenta formación de floc, sin embargo, actúa como precipitante, en este caso en particular para la precipitación del fosfato de calcio. En los ensayos de cal hidratada se obtuvo una concentración promedio en agua cruda de 0.247 ppm de fosfato (Tabla 4).

Dosis Ca(OH)_2 (ppm)	C PO_4^{3-} Promedio (ppm)	Remoción de fosfatos (%)
0	0,247	0,00
5	0,130	46,74
10	0,121	48,19
15	0,126	45,08
20	0,160	33,05
25	0,139	42,42
30	0,160	34,58

Tabla 4. Datos promediados de ensayos de jarras con Cal Hidratada.

Como se observa en la figura 3, hay dos etapas o intervalos de remoción; el primero entre 5 y 15 ppm de coagulante, este se muestra constante y casi lineal, el segundo entre 20 y 30 ppm de coagulante muestra un leve aumento en la concentración de fosfatos respecto de la primera etapa.

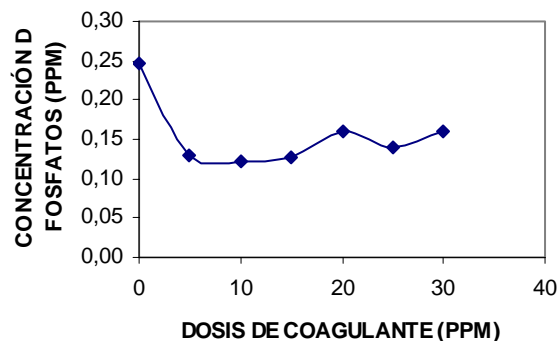


Figura 3. Promedio de remoción de fosfatos con Cal Hidratada. De igual forma se nota una tendencia constante en la remoción.

3.4 GRÁFICOS DE CONTROL

La tabla 5 muestra cómo se agruparon los datos para la elaboración de los gráficos de control y los cálculos necesarios para los mismos.

ENSAYO	\bar{X}_1	\bar{X}_2	R_s
17 – 18	0,051	0,060	0,009
18 – 19	0,060	0,081	0,021
19 – 20	0,081	0,080	0,001
20 – 21	0,080	0,023	0,057
21 – 22	0,023	0,100	0,077
22 – 23	0,100	0,024	0,076
23 – 24	0,024	0,100	0,076
24 – 25	0,100	0,091	0,009
25 – 26	0,091	0,052	0,039
26 – 27	0,052	0,072	0,020
27 – 28	0,072	0,059	0,013
28 – 29	0,059	0,091	0,032

29 – 30	0,091	0,106	0,015
30 – 31	0,106	0,115	0,009
31 – 32	0,115	0,101	0,014
Promedio			0.031

Tabla 5. Datos para el gráfico de control de remoción de fosfatos con Cloruro Férrico. Dosis aplicada = 18 ppm

Límite de control superior: $LCs = \bar{X} + 2.660R_s$

Línea central: $LC = \bar{X}$

Límite de control inferior: $LCi = \bar{X} - 2.660R_s$

$LCs = 0.075 + (2.660 * 0.031) = 0.157$

$LC = 0.075$

$LCi = 0.075 - (2.660 * 0.031) = 0$

En la Figura 4 se muestra una buena disposición de los puntos, sin rachas ni tendencias, estando siempre dentro de los límites de control (normalidad en el proceso).

Este comportamiento también se observa en concentraciones de 18 ppm en adelante, manteniendo la concentración de fosfatos por debajo de la norma (0.200 ppm), observándose el mayor rendimiento en el gráfico de las 18 ppm donde el contenido de fosfatos es siempre menor a 0.120 ppm.

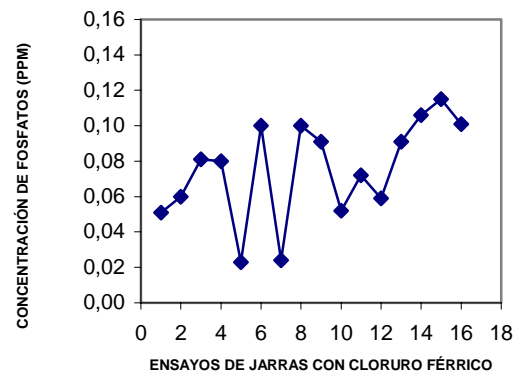


Figura 4. Gráfico de control de concentración de fosfatos para una dosis aplicada de 18 ppm de Cloruro Férrico.

Entre los ensayos 1 y 8 se nota una racha, la longitud de la racha es de 8 puntos, lo cual se considera anormal dentro de las pautas de análisis de un gráfico de control.

En la figura 5 se observa una tendencia ascendente, y en el conjunto de los gráficos de control de Sulfato de Aluminio se denota el acercamiento de varios puntos a los límites de control, situación que también es considerada anormal.

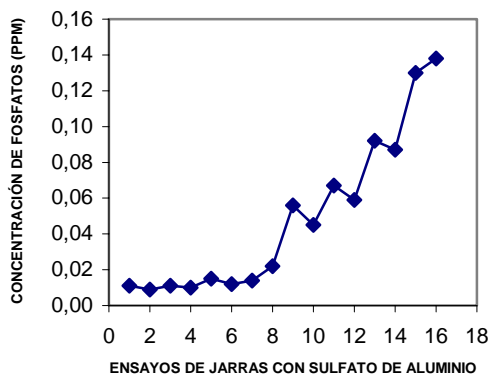


Figura 5. Gráfico de control de concentración de fosfatos para una dosis aplicada de 30 ppm de Sulfato de Aluminio.

$$LCs = 0.049 + (2.660 * 0.012) = 0.081$$

$$LC = 0.049$$

$$LCi = 0.049 - (2.660 * 0.012) = 0.017$$

En la figura 6 se observa que el proceso tiene puntos por fuera de los límites de control.

$$LCs = 0.121 + (2.660 * 0.036) = 0.217$$

$$LC = 0.121$$

$$LCi = 0.121 - (2.660 * 0.036) = 0.025$$

En general no se observan rachas ni tendencias marcadas que indiquen un proceso fuera de control, sin embargo, la concentración de fosfatos está en algunos casos por encima de la norma.

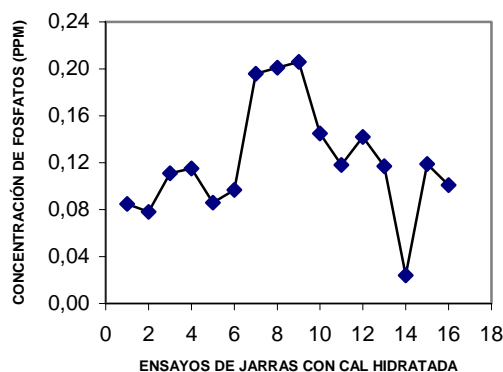


Figura 6. Gráfico de control de concentración de fosfatos para una dosis aplicada de 10 ppm de Cal Hidratada.

4. CONCLUSIONES

A pesar de presentarse remoción de fosfatos, se descarta el uso de la Cal Hidratada para este proceso de remoción, ya que cuando las concentraciones de fosfato en agua cruda son mayores a 0.200 ppm, en la mayoría de los ensayos no se cumple con el objetivo establecido de mantener dicho parámetro por debajo de la norma, además se requeriría de un nuevo paso en el proceso de

potabilización, el cual sería adicionar al agua un producto que permitiera ajustar y controlar el aumento pH que el uso de la Cal implica.

Tanto el Sulfato de Aluminio como el Cloruro Férrico son de gran ayuda para lograr los objetivos propuestos, ya que estos permiten llevar el agua hasta un pH óptimo de coagulación que según las fuentes bibliográficas se encuentra entre 5 y 6.5 (6).

El Cloruro Férrico muestra una mayor eficiencia con respecto al Sulfato de Aluminio en el proceso de remoción, manteniendo además un mayor estado de control del proceso a pesar de la variabilidad de la concentración de fosfatos en la fuente

De acuerdo a los gráficos de control, el Cloruro Férrico fue el coagulante de mejor desempeño durante los ensayos realizados y se observó el más alto grado de rendimiento en las dosis aplicadas entre 18 y 22 ppm.

Se ha concluido por los números obtenidos y las figuras realizadas que no es necesaria la aplicación de altas dosis de coagulante, tanto de Cloruro Férrico como de Sulfato de Aluminio que superen las planteadas en este trabajo para obtener buenos resultados. Los mejores resultados obtenidos con Sulfato de Aluminio se dieron con la dosis de 30 ppm y con el Cloruro Férrico con dosis entre 18 y 22 ppm, lo que muestra que se pueden obtener buenos resultados con un consumo moderado de producto químico y disminuir costos de operación en el proceso de potabilización en la planta de tratamiento de Aguas y Aguas de Pereira.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua "Tomo 1", Editorial MC Graw Hill – Interamericana, 3ª Edición, Bogota, Colombia, 2000.
- [2]. CAROT ALONSO, Vicente. Control Estadístico de la Calidad, Universidad Politécnica de Valencia, Alfaomega Grupo Editor S.A., de C.V., México D.F., México, 2001.
- [3]. DECRETO 475 DE 1998. Normas Técnicas de Calidad de Agua Potable, Ministerio de Medio Ambiente, República de Colombia.
- [4]. KUME, Hitoshi. Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad, Grupo Editorial Norma, Bogota, Colombia, 1992.
- [5]. LEIB H, José Diego. Estadística y Control de Calidad, Universidad Tecnológica de Pereira,

Facultad de Tecnologías, Escuela de Química,
Pereira, Colombia, 1985.

- [6]. PEREZ PARRA, Jorge Arturo. Manual de Potabilización del Agua, Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín, Facultad Nacional de Minas, Departamento de ingeniería civil, 1986.
- [7]. RAYNER-CANHAM, G. and Overton, T. Descriptive Inorganic Chemistry. Ed. 3. W. H. Freeman and Company, New York, 2003.
- [8]. REGLAMENTO BÁSICO DEL SECTOR DE AGUA
- [9]. POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, RAS 2000, Sección 2, Título C, Sistemas de Potabilización.
- [10]. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuiquímica, Escuela Colombiana de Ingeniería, Editorial Presencia, 1ª Edición, Bogota, Colombia, 1996.
- [11]. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del Agua, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1ª Edición, Bogota, Colombia, 2002.
- [12]. SNOEYINK, Vernon L. – JENKINS, David. Química del Agua, Editorial Limusa S.A., 1ª Edición, México, 1990.
- [13]. STANDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER, American Public Health Association – American Water Works Association – Water Pollution Control Federation, 17º Edición, Editado en Español por: Ediciones Díaz de Santos S.A., Madrid, España, 1992.